

Multiple axial injection into cyclotrons

Patent number: NL9302257
Publication date: 1995-07-17
Inventor:
Applicant: WILLEM JAN GERARD MARIE KLEEVE
Classification:
- international: H05H13/00
- european: H05H7/08; H05H13/00
Application number: NL19930002257 19931224
Priority number(s): NL19930002257 19931224

Abstract of NL9302257

Cyclotron comprising injection means for simultaneously and individually injecting two or more particle beams into the centre of the cyclotron from respective axial directions, generating means for generating an axial magnetic field in the centre of the cyclotron, deflection means for simultaneously deflecting the particle beams to various exit positions in the median plane of the cyclotron, acceleration means for simultaneously accepting and accelerating the particle beams and mixing them into an accelerated particle beam, and possibly extraction means for extracting the accelerated particle beams. Method for generating an accelerated particle beam with the aid of a cyclotron by simultaneously injecting two or more particle beams into the centre of the cyclotron from respective axial directions, simultaneously deflecting the injected particle beams to various exit positions in the median plane of the cyclotron, simultaneously accepting and accelerating the deflected particle beams and mixing the accelerated particle beams into a single accelerated particle beam, and possibly extracting the single accelerated particle beam.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19)



Octrooiraad
Nederland

(11)

Publikatienummer: **9302257**

(12) A TERINZAGELEGGING

(21)

Aanvraagnummer: **9302257**

(51)

Int.Cl.⁶:
H05H 13/00

(22)

Indieningsdatum: **24.12.93**

(43)

Ter inzage gelegd:
17.07.95 I.E. 95/14

(71)

Aanvrager(s):
Willem Jan Gerard Marie Kleeven te Horst

(72)

Uitvinder(s):
Willem Jan Gerard Marie Kleeven te Horst

(74)

Gemachtigde:
**Ir. J.J.H. Van kan c.s.
Algemeen Octrooibureau
Postbus 645
5600 AP Eindhoven**

(54)

Meervoudige axiale injectie in cyclotrons

(57)

Cyclotron met injectiemiddelen voor het gelijktijdig individueel vanuit respectieve axiale richtingen in het centrum van het cyclotron inbrengen van twee of meer deeltjesbundels, opwekkingsmiddelen voor het in het centrum van het cyclotron opwekken van een axiaal magneetveld, afbuigingsmiddelen voor het gelijktijdig op verschillende uittreeposities in het mediaanvlak van het cyclotron afbuigen van de deeltjesbundels, versnellingsmiddelen voor het gelijktijdig accepteren en versnellen, alsmede in een versnelde deeltjesbundel mengen van de deeltjesbundels en eventueel extractiemiddelen voor het extraheren van de versnelde deeltjesbundel. Werkwijze voor het met behulp van een cyclotron genereren van een versnelde deeltjesbundel door het gelijktijdig vanuit respectieve axiale richtingen in het centrum van het cyclotron inbrengen van twee of meer deeltjesbundels, het gelijktijdig op verschillende uittreeposities in het mediaanvlak van het cyclotron afbuigen van de ingebrachte deeltjesbundels, het gelijktijdig accepteren en versnellen van de afgebogen deeltjesbundels, alsmede het mengen van de versnelde deeltjesbundels in een enkele versnelde deeltjesbundel en eventueel het extraheren van de enkele versnelde deeltjesbundel.

NL A 9302257

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Korte aanduiding: Meervoudige axiale injectie in cyclotrons.

De uitvinding heeft betrekking op een cyclotron, omvattende injectiemiddelen voor het vanuit een axiale richting in het centrum van het cyclotron inbrengen van een deeltjesbundel, opwek-
5 kingsmiddelen voor het mede in het centrum van het cyclotron opwekken van een axiaal magneetveld, afbuigingsmiddelen voor het onder aanleg-
ging van een elektrisch veld vanuit de axiale richting in het mediaan-
vlak afbuigen van de deeltjesbundel en versnellingsmiddelen voor het
10 onder opdrukking van een elektrische wisselspanning in het mediaanvlak
versnellen van de deeltjesbundel, alsmede op een werkwijze voor het
met behulp van een cyclotron genereren van een versnelde deeltjes-
bundel, omvattende de stappen van het vanuit een axiale richting in
het centrum van het cyclotron inbrengen van een deeltjesbundel, het
15 vanuit de axiale richting in het mediaanvlak van het cyclotron afbuig-
gen van de deeltjesbundel en het in het mediaanvlak versnellen van de
deeltjesbundel.

Een dergelijke inrichting en werkwijze zijn bekend uit G.H. Ryckewaert, Axial Injection Systems for Cyclotrons,
20 Proceedings of the ninth International Conference on Cyclotrons and
their Applications, Caen, Frankrijk, 1981, blzn. 241-248.

Algemener is een cyclotron een circulaire versnel-
ler, waarmee bijvoorbeeld geladen ionen van een zekere beginenergie
naar een hogere eindenergie kunnen worden versneld. Karakteristiek
25 voor een cyclotron ten opzichte van andere circulaire versnellers is
dat de ionen niet op een constante radius blijven, maar in spiraal-
vormige banen van binnen naar buiten, dat wil zeggen van een kleine
radius naar een grote radius bewegen.

Het inbrengen van ionen in een cyclotron, ofte
30 wel het injectieproces, kan in principe op een drietal verschillende
manieren worden uitgevoerd, namelijk met behulp van een in het centrum
van het cyclotron geplaatste interne ionenbron, door middel van
horizontale injectie, waarbij een deeltjesbundel via het mediaanvlak
van het cyclotron aan het versnellingsproces wordt aangeboden, en door
35 middel van axiale injectie, waarbij de bundel via de symmetrie-as van
het cyclotron aan het versnellingsproces wordt aangeboden.

Bij de hierboven genoemde bekende inrichting en
werkwijze wordt axiale injectie toegepast, waarbij de ionenbron, omvat

9302257

door injectiemiddelen, zich buiten het cyclotron bevindt en de ionen met een injectielijn via de as van het cyclotron naar het centrum worden geleid. In het centrum bevindt zich een zogenaamde elektrostatische inflector, of algemener afbuigingsmiddelen, waarmee de ionenbundel vanuit axiale richting in de horizontale richting van het mediaanvlak wordt afgebogen. Hiervoor kunnen in principe verschillende type deflectoren worden gebruikt, zoals de spiraalvormige inflector, de hyperbolische inflector, de parabolische inflector of de spiegel-inflector ofte wel elektrostatische spiegel. Heden wordt vaak een spiraalvormige inflector toegepast, bijvoorbeeld die, welke is beschreven in J.L. Belmont en J.L. Pabot, Study of Axial Injection for the Grenoble Cyclotron, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-13, 191 (1966). Zoals ook daarin is beschreven, bestaat de inflector uit twee tegengesteld geladen elektroden, waartussen een elektrisch veld aanwezig is, waarmee de geïnjecteerde deeltjesbundel vanuit de axiale richting in het mediaanvlak wordt afgebogen. Vanwege het aanwezige axiale magneetveld ter plekke van de inflector, maakt de bundel tevens een draaiing rond de as van het cyclotron, waardoor de karakteristieke spiraalvormige baan in de inflector ontstaat, die niet moet worden verward met de eerder genoemde spiraalvormige banen in het cyclotron.

Eenmaal in het mediaanvlak aangekomen, wordt de deeltjesbundel versneld met behulp van daar geplaatste metalen, D-vormige holle dozen, die in de vakliteratuur dees worden genoemd en waarop een hoge elektrische wisselspanning is opgedrukt. Erg belangrijk voor een goede versnelling is de geometrische vorm van deze dees, of algemener versnellingsmiddelen, in het centrum van het cyclotron. S. Zaremba e.a., Beam Dynamics in newly designed cyclotrons at Ion Beam Applications, Proceedings of the 2nd European Particle Accelerator Conference, held in Nice, 12-16 juni, 1990, blzn. 1774-1776 geeft een centrumgeometrie van een cyclotron met twee dees aan de openbaarheid prijs. Er zijn echter reeds vele verschillende varianten ontwikkeld.

Axiale injectie wordt zowel in traditionele cyclotrons met conventionele magneetspoelen, als in cyclotrons met supergeleidende magneetspoelen toegepast. Een voorwaarde voor axiale injectie is dat het versnellingsproces dicht in het centrum van het cyclotron begint en dat het opgewekte magneetveld ook in het centrum aanwezig is. Dit is zeker het geval in compacte cyclotrons, al dan

9302257

niet supergeleidend, maar kan ook het geval zijn voor cyclotrons met aparte sectoren.

Het is een doel van de uitvinding om de intensiteit van de te extraheren of intern in het cyclotron te gebruiken, versnelde deeltjesbundel te verhogen.

De uitvinding voorziet daartoe in een inrichting van de in de aanhef genoemde soort, die het kenmerk heeft, dat de injectiemiddelen zijn ingericht om gelijktijdig twee of meer deeltjesbundels individueel vanuit respectieve axiale richtingen in het centrum van het cyclotron in te brengen, de afbuigingsmiddelen zijn ingericht om de deeltjesbundels gelijktijdig op verschillende uittreeposities in het mediaanvlak af te buigen en de versnellingsmiddelen zijn ingericht om de deeltjesbundels gelijktijdig te accepteren en versnellen, alsmede in een versnelde deeltjesbundel te mengen.

Met hetzelfde doel voorziet de uitvinding in een werkwijze van de in de aanhef genoemde soort, die het kenmerk heeft, dat zij de verdere stap omvat van het gelijktijdig met het inbrengen van de deeltjesbundel vanuit andere respectieve axiale richtingen in het centrum van het individueel cyclotron inbrengen van een of meer verdere deeltjesbundels, de afbuigstap het gelijktijdig op verschillende uittreeposities in het mediaanvlak afbuigen van alle deeltjesbundel omvat en de versnellingsstap het gelijktijdig accepteren en versnellen, alsmede het in een versnelde deeltjesbundel mengen van alle deeltjesbundels omvat.

Tot op heden werd, ook bij de bekende inrichting en werkwijze, axiale injectie van de deeltjesbundel altijd vanuit een van de twee mogelijke richtingen langs de as van het cyclotron uitgevoerd. Bij de voorgestelde inrichting en werkwijze in overeenstemming met de uitvinding worden twee of meer deeltjesbundels gelijktijdig geïnjecteerd om vanuit verschillende axiale richtingen naar het centrum van het cyclotron toe te bewegen, bijvoorbeeld twee deeltjesbundels vanuit tegengestelde richtingen langs de as van het cyclotron, waardoor de intensiteit van de deeltjes die door het cyclotron worden geaccepteerd aanzienlijk wordt verhoogd, en in het genoemde voorbeeld in principe zelfs verdubbeld. Intensiteitsbeperkingen die ontstaan doordat de intensiteit van de geïnjecteerde deeltjesbundel is beperkt, maar ook beperkingen ten gevolge van ruimteladingseffecten in het centrum van

9 3 0 2 2 5 7

het cyclotron, worden verminderd, in het genoemde voorbeeld in principe met een factor 2.

De uitvinding is van belang voor alle situaties, waarbij verhoging van de intensiteit belangrijk is. Met name valt hierbij te denken aan industriële cyclotrons en aan cyclotrons voor medische toepassingen, die worden gebruikt voor de produktie van radio-isotopen. Ook voor andere toepassingen kan echter de uitvinding van belang zijn, bijvoorbeeld bij versnelling van minder gangbare deeltjes, zoals zware ionen, gepolariseerde deeltjes of radio-actieve deeltjes.

De uitvinding zal nu aan de hand van de tekening nader worden beschreven, in welke tekening:

figuur 1 een schematisch aanzicht van axiale injectie in een bekend cyclotron is;

figuur 2 een aanzicht van een bekende spiraalvormige inflector is;

figuur 3 een aanzicht in het mediaanvlak van de geometrie van het centrale gebied in een bekend cyclotron is;

figuur 4 een voorbeeld van een dubbele spiraalvormige inflector in overeenstemming met de principes van de onderhavige uitvinding illustreert; en

figuur 5 op dezelfde manier als figuur 3 de geometrie van het centrale gebied illustreert, maar dan in een mogelijke uitvoeringsvorm van het voorgestelde cyclotron, waarbij twee deeltjesbundels gelijktijdig worden versneld.

Figuren 1 tot en met 3 zijn dus representatief voor de stand van de techniek, terwijl figuren 4 en 5 dit voor de onderhavige uitvinding zijn.

Met het oog op het beter kunnen begrijpen van de onderhavige uitvinding zal nu aan de hand van figuren 1-3 nader op de stand van de techniek worden ingegaan.

In figuur 1 is een schematische voorstelling van een bekend cyclotron gegeven. Verwijzingscijfer 3 geeft een magneetjuk aan, terwijl verwijzingscijfer 4 een magneetspoel aangeeft. De combinatie magneetjuk 3 en magneetspoel 4 is een voorbeeld van opwekkingsmiddelen voor het in het met het verwijzingscijfer 7 aangegeven centrum van het cyclotron opwekken van een axiaal magneetveld. De as van het cyclotron is met het verwijzingscijfer 1 aangegeven, het

9 3 0 2 2 5 7

mediaanvlak met het verwijzingscijfer 2 en een axiaal injectiekanaal met het verwijzingsgetal 30. Injectiemiddelen zijn in figuur 1 niet getoond, maar wel de daardoor geïnjecteerde deeltjesbundel, namelijk door de met het verwijzingsgetal 10 aangegeven pijlpunt. Als voorbeeld van afbuigingsmiddelen is in figuur 1 een inflector 5 getoond voor het vanuit de axiale richting (1) in het mediaanvlak 2 afbuigen van de deeltjesbundel 10, waarbij de afgebogen deeltjesbundel is vertegenwoordigd door de met het verwijzingsgetal 11 aangegeven pijlpunt en de afgebogen baan in de inflector 5 met het verwijzingscijfer 8. Versnelingsmiddelen, in dit geval in de vorm van twee D-vormige holle dozen zijn respectievelijk aangegeven met de verwijzingsgetallen 61 en 62.

In overeenstemming met figuur 1 omvat het bekende cyclotron dus (niet getoonde) injectiemiddelen voor het vanuit een axiale richting, dat wil zeggen in een van de mogelijke richtingen langs de as 1 van het cyclotron, in het centrum 7 van het cyclotron inbrengen van een deeltjesbundel (geïnjecteerde deeltjesbundel) 10, opwekkingsmiddelen 3, 4 voor het mede in het centrum 7 van het cyclotron opwekken van een axiaal magneetveld, afbuigingsmiddelen 5 voor het onder aanlegging van een elektrisch veld vanuit de axiale richting (1) in het mediaanvlak 2 afbuigen van de geïnjecteerde deeltjesbundel 10, waardoor een afgebogen deeltjesbundel 11 wordt voortgebracht, versnellingsmiddelen 61, 62 voor het onder opdrukking van een elektrische wisselspanning in het mediaanvlak 2 versnellen van de deeltjesbundel om een (niet getoonde) versnelde deeltjesbundel op te wekken, en eventueel (niet getoonde) extractiemiddelen voor het extraheren van de versnelde deeltjesbundel.

De werking van het cyclotron volgens de stand van de techniek kan als bekend worden verondersteld, zodat hier niet nader daarop hoeft te worden ingegaan.

In figuur 2 is de bekende spiraalvormige inflector 5 gedetailleerder getoond, waarbij in figuur 2 onder gebruikmaking van dezelfde verwijzingsgetallen als in figuur 1 de cyclotronas 1, het mediaanvlak 2, het cyclotronmidden 7, de geïnjecteerde deeltjesbundel 10, de afgebogen deeltjesbundel 11 en de afbuigingsbaan 8 zijn aangegeven. Daarenboven is met het verwijzingscijfer 9 nog de richting in het mediaanvlak 2 aangegeven, waarin de afgebogen deeltjesbundel 11 het mediaanvlak 2 binnentreedt.

9302257

De getoonde configuratie van de spiraalvormige inflector 5 is bekend, en meer in het bijzonder bestaat de spiraalvormige inflector 5 uit twee delen 51 en 52, respectievelijk de positieve en negatieve elektroden, wanneer de geïnjecteerde deeltjesbundel 10 negatief is geladen.

Ook de werking van de spiraalvormige inflector 51, 52 volgens de stand van de techniek is bekend, zodat hier niet nader daarop zal worden ingegaan.

In de centrumgeometrie van een bekend cyclotron die in figuur 3 is getoond, zijn wederom het cyclotronmidden 7, de spiraalvormige inflector 5 de afgebogen deeltjesbundel 11 en de dees 61 en 62 getoond. Voorts is de versnelde bundel met het verwijzingsgetal 12 aangegeven.

Wat ten aanzien van figuren 1 en 2 is gezegd, geldt ook voor figuur 3, dat wil zeggen dat de geometrie van het centrale cyclotrongebied bekend is en hierop niet nader daarop zal worden ingegaan.

De bekende werkwijze omvat voor het met behulp van een cyclotron genereren van een versnelde deeltjesbundel onder verwijzing naar figuren 1 tot en met 3 de stappen van het vanuit een axiale richting (1) in het centrum 7 van het cyclotron inbrengen van een deeltjesbundel (geïnjecteerde deeltjesbundel) 10, het vanuit de axiale richting (1) in het mediaanvlak 2 van het cyclotron afbuigen van de geïnjecteerde deeltjesbundel 10, om een afgebogen deeltjesbundel 11 op te leveren, het in het mediaanvlak 2 versnellen van de afgebogen deeltjesbundel 11, om een versnelde deeltjesbundel 12 op te leveren, en eventueel het extraheren van de versnelde deeltjesbundel 12.

De uitvinding zal nu nader worden toegelicht aan de hand van een mogelijke uitvoeringsvorm, in het bijzonder een uitvoeringsvorm, waarbij de (niet getoonde) injectiemiddelen zijn ingericht om gelijktijdig twee deeltjesbundels vanuit tegengestelde richtingen langs de as van het cyclotron naar het centrum van het cyclotron te richten. Deze uitvoeringsvorm is in figuren 4 en 5 van de begeleidende tekening nader veraanschouwelijkt, maar benadrukt wordt dat de uitvinding daartoe niet is beperkt. Bij deze uitvoeringsvorm worden als injectiemiddelen bijvoorbeeld twee injectielijnen en twee ionenbronnen (die niet zijn getoond) gebruikt. Bovendien zijn dan als afbuigingsmiddelen twee elektrostatische inflectoren nodig, die beide geïnjec-

9302257

teerde deeltjesbundels gelijktijdig in het mediaanvlak van het cyclotron afbuigen. Als voorbeeld is in figuur 4 een 3-dimensionale schets van een integrale, dubbel uitgevoerde spiraalvormige inflector aangegeven.

5 In figuur 4 zijn zoveel mogelijk dezelfde verwijzingsgetallen als in figuur 2 gebruikt. In figuur 4 wordt door de (niet getoonde) injectiemiddelen naast de (eerste) deeltjesbundel 10 een tweede deeltjesbundel 20 langs as 1, maar uit tegengestelde richting geïnjecteerd. Voorts is er voorzien in een tweede inflector 10 151, 152, analoog aan de (eerste) inflector 51, 52, welke inflectoren 51, 52 en 151, 152 in het getoonde geval zijn geïntegreerd, dat wil zeggen dat meer in het bijzonder de elektroden 52 en 152 een geheel vormen, dat inflectorlichaam kan worden genoemd. Eerste deeltjesbundel 10 wordt langs afbuigingsbaan 8 als afgebogen deeltjesbundel 11 in de 15 ene richting langs lijn 9 in het mediaanvlak 2 afgebogen. De tweede deeltjesbundel 20 wordt langs afbuigingsbaan 18 in de andere richting langs lijn 9 als afgebogen deeltjesbundel 21 in het mediaanvlak 2 afgebogen. De uittreeposities maken dan ook een hoek van π rad met elkaar. Wanneer de deeltjesbundels 10 en 20 positief zijn geladen, 20 omvat de geïntegreerde dubbele inflector 51, 52, 151, 152 een positief inflectorlichaam 52, 152 en negatieve inflectorelektroden 51 en 151. Het principe van bundelgeleiding is verder hetzelfde als bij de enkelvoudige spiraalvormige inflector van figuur 2.

In figuur 5 is de tweede inflector 151, 152 met het 25 verwijzingsgetal 15 aangegeven, en de eerste, zoals eerder, met het verwijzingscijfer 5. Net zoals in figuur 3 zijn de dees met de verwijzingsgetallen 61 en 62 aangegeven, het cyclotronmidden met het verwijzingscijfer 7 en de afgebogen eerste en tweede deeltjesbundels met respectievelijk 11 en 21. Zoals zal worden ingezien, is naast een 30 dubbel uitgevoerde inflector 5, 15 een speciale centrumgeometrie van de versnellingselektroden 61, 62 nodig, waarmee beide, althans in de in figuren 4 en 5 getoonde uitvoeringsvorm, deeltjesbundels 10, 20 gelijktijdig kunnen worden geaccepteerd en versneld. Meer in het bijzonder is in figuur 5 een voorbeeld gegeven, dat is geschikt voor 35 een versnellingsstructuur met twee dees 61, 62. Omdat beide deeltjesbundels 10, 20 volledig gelijkwaardig zijn, is in dit geval gekozen voor een versnellingsstructuur 61, 62 die symmetrisch ten opzichte van het geometrische midden 7 van het cyclotron is. In figuur 5 is de vorm

9302257

van de eerste omloop van de versnelde banen met de verwijzingsgetallen 12 en 22 aangegeven, waarbij wordt opgemerkt dat de dubbel uitgevoerde spiraalvormige inflector 5, 15 schematisch als projectie op het mediaanvlak 2 is getekend. De geometrie in figuur 5 is zodanig gekozen, dat de versnelde baan 12 ook in de nieuwe situatie past.

Het is bekend dat de versnelde baan in een cyclotron de vorm van een spiraal aanneemt, die begint in het centrum 7 en eindigt bij extractie (niet getoond). In de beschreven uitvoeringsvorm worden in het cyclotron twee van deze spiralen 12, 22 gevormd. Het begin van deze twee spiralen 12, 22 is in figuur 5 ingetekend. Beide spiralen 12, 22 kunnen van elkaar worden afgeleid door middel van een rotatie om de as 1 van het cyclotron over een hoek van π rad. Het blijkt dat de ene spiraal 22 in feite in de andere 12 ligt gerold, en omgekeerd. Dit betekent dat de ladingswolken van beide deeltjesbundels 10, 20 elkaar in het centrum van het cyclotron niet of nauwelijks overlappen, zodat ruimteladingseffecten van gelijke grootte blijven als in het geval dat slechts één bundel (10) wordt versneld. Na het passeren van het centrum 7, komen bij grotere radii in het cyclotron de twee spiralen 12, 22 dichter en dichter bij elkaar te liggen en treedt uiteindelijk volledige menging op. In het geval dat negatieve waterstofionen worden versneld, kan extractie volgens de bekende methode met een stripfolie geschieden. Ook andere gebruikelijke extractiemethoden met een elektrostatisch septum zijn bij de voorgestelde inrichting mogelijk.

Kenmerkend voor de voorgestelde inrichting is dat de injectiemiddelen (die niet zijn getoond) zijn ingericht om gelijktijdig twee of meer deeltjesbundels (10, 20) individueel vanuit respectieve axiale richtingen (langs of evenwijdig aan cyclotron as 1 vanuit de ene en/of tegengestelde richting) in het centrum 7 van het cyclotron in te brengen, de afbuigingsmiddelen (51, 52, 151, 152) zijn ingericht om de deeltjesbundels (10, 20) gelijktijdig op verschillende uittreeposities in het mediaanvlak (2) af te buigen om afgebogen deeltjesbundels (11, 21) op te leveren, en de versnellingsmiddelen (61, 62) zijn ingericht om de afgebogen deeltjesbundels (11, 21) gelijktijdig te accepteren en versnellen, om versnelde deeltjesbundels (12, 22) op te leveren, alsmede in een versnelde deeltjesbundel te mengen.

Kenmerkend voor de voorgestelde werkwijze is dat gelijktijdig twee of meer deeltjesbundels (10, 20) individueel vanuit

9302257

5 respectieve axiale richtingen (langs of evenwijdig aan cyclotronas 1 vanuit de ene en/of tegengestelde richting) in het centrum (7) van het cyclotron worden ingebracht, de ingebrachte deeltjesbundels (10, 20) gelijktijdig op verschillende uittreeposities in het mediaanvlak (2) worden afgebogen, om afgebogen deeltjesbundels (11, 21) op te leveren, en de afgebogen deeltjesbundels (11, 21) gelijktijdig worden geaccepteerd en versneld, alsmede in een enkele versnelde deeltjesbundel worden gemengd.

10 In overeenstemming met figuren 4 en 5 worden de twee deeltjesbundels 10, 20 vanuit tegengestelde richtingen langs de as 1 van het cyclotron naar het centrum 7 van het cyclotron gericht.

15 Als alternatief of daarnaast kunnen de (niet getoonde) injectiemiddelen zijn ingericht om gelijktijdig de deeltjesbundels vanuit axiale richtingen naast elkaar op respectieve afstanden van de as 1 van het cyclotron naar het centrum 7 van het cyclotron te richten, waarbij twee of meer niet langs de as 1 van het cyclotron gerichte deeltjesbundels tegengesteld kunnen zijn gericht.

20 De voorgestelde werkwijze kan overeenkomstig zijn. Zoals gezegd, is de uitvinding toepasbaar op zowel traditionele als supergeleidende cyclotrons.

Voor het genereren van een aantal deeltjesbundels kunnen even zoveel bundelbronnen worden gebruikt, maar denkbaar is dat een enkele bundelbron wordt gebruikt, waaruit dat aantal deeltjesbundels wordt geëxtraheerd.

25 Voorts zal het duidelijk zijn dat, hoewel de tekening als voorbeeld uitgaat van een spiraalvormige inflector, de werkwijze evenzeer toepasbaar is met andere elektrostatische inflectoren, zoals de genoemde hyperbolische inflector, parabolische inflector of spiegelinflector.

30 In de tekening worden de deeltjesbundels precies op de as van het cyclotron geïnjecteerd. Dit is niet een vereiste, aangezien bijvoorbeeld, wanneer een hyperbolische inflector wordt gebruikt, injectie niet precies op de as hoeft te geschieden, maar wel dicht erbij. In dit geval zijn ook varianten denkbaar, waarbij zoals
35 eerder gezegd verscheidene bundels vanuit een axiale richting, naast elkaar op zekere afstand van de as in het cyclotron worden gebracht en waarbij een even groot aantal inflectoren wordt gebruikt om deze deeltjesbundels in het mediaanvlak af te buigen.

9 3 0 2 2 5 7

De veronderstelde symmetrie van de centrumgeometrie is slechts globaal en als voorbeeld gebruikt. Afwijkingen van deze symmetrie zijn denkbaar, terwijl de principiële werking dezelfde blijft.

- 5 Tenslotte is in de tekening uitgegaan van een versnellingssysteem met twee dees. Er zijn echter ook varianten denkbaar, waarbij hetzelfde idee van meervoudige injectie in een cyclotron met een ander aantal versnellingsdees, bijvoorbeeld 1, 3 of 4, wordt toegepast. In het geval van een versnellingssysteem met drie
- 10 dees ligt het voor de hand om een centrumgeometrie te ontwerpen met een drievoudige rotatiesymmetrie. In dit geval zou ook de in de tekening getoonde dubbele spiraalvormige inflector anders kunnen worden uitgevoerd, namelijk zodanig dat de uittreeposities van de bundels $\pi/3$ rad in plaats van $\pi/2$ rad uit elkaar liggen.

9302257

Conclusies.

1. Cyclotron, omvattende injectiemiddelen voor het vanuit een axiale richting in het centrum van het cyclotron inbrengen van een deeltjesbundel, opwekkingsmiddelen voor het mede in het centrum van het cyclotron opwekken van een axiaal magneetveld, afbuigingsmiddelen voor het onder aanlegging van een elektrisch veld vanuit de axiale richting in het mediaanvlak afbuigen van de deeltjesbundel en versnellingsmiddelen voor het onder opdrukking van een elektrische wisselspanning in het mediaanvlak versnellen van de deeltjesbundel, met het kenmerk, dat de injectiemiddelen zijn ingericht om gelijktijdig twee of meer deeltjesbundels individueel vanuit respectieve axiale richtingen in het centrum van het cyclotron in te brengen, de afbuigingsmiddelen zijn ingericht om de deeltjesbundels gelijktijdig op verschillende uittreeposities in het mediaanvlak af te buigen en de versnellingsmiddelen zijn ingericht om de deeltjesbundels gelijktijdig te accepteren en versnellen, alsmede in een versnelde deeltjesbundel te mengen.
2. Cyclotron volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de injectiemiddelen zijn ingericht om gelijktijdig twee deeltjesbundels vanuit tegengestelde richtingen langs de as van het cyclotron naar het centrum van het cyclotron te richten.
3. Cyclotron volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat de injectiemiddelen zijn ingericht om gelijktijdig de deeltjesbundels vanuit axiale richtingen naast elkaar op respectieve afstanden van de as van het cyclotron naar het centrum van het cyclotron te richten.
4. Cyclotron volgens conclusie 3, met het kenmerk, dat twee of meer niet langs de as van het cyclotron gerichte deeltjesbundels tegengesteld zijn gericht.
5. Cyclotron volgens een van de voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de afbuigingsmiddelen een aantal elektrostatische inflectoren omvatten.
6. Cyclotron volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat de inflectoren zijn gekozen uit een groep inflectoren die spiraalvormige inflectoren, hyperbolische inflectoren, parabolische inflectoren en spiegelinflectoren omvat.

9 3 0 2 2 5 7

7. Cyclotron volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat twee spiraalvormige inflectoren in een dubbele spiraalvormige inflector zijn geïntegreerd.

5 8. Cyclotron volgens een van de voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de versnellingsmiddelen symmetrisch ten opzichte van het centrum van het cyclotron zijn.

9. Cyclotron volgens een van de voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat de versnellingsmiddelen metalen, D-vormige holle dozen omvatten.

10 10. Werkwijze voor het met behulp van een cyclotron genereren van een versnelde deeltjesbundel, omvattende de stappen van het vanuit een axiale richting in het centrum van het cyclotron inbrengen van een deeltjesbundel, het vanuit de axiale richting in het mediaanvlak van het cyclotron afbuigen van de deeltjesbundel en het
15 in het mediaanvlak versnellen van de deeltjesbundel, met het kenmerk, dat zij de verdere stap omvat van het gelijktijdig met het inbrengen van de deeltjesbundel vanuit andere respectieve axiale richtingen in het centrum van het cyclotron individueel inbrengen van een of meer
20 verdere deeltjesbundels, de afbuigstap het gelijktijdig op verschillende uittreeposities in het mediaanvlak afbuigen van alle deeltjesbundels omvat en de versnellingsstap het gelijktijdig accepteren en versnellen, alsmede het in een versnelde deeltjesbundel mengen van alle deeltjesbundels omvat.

11. Werkwijze volgens conclusie 10, met het kenmerk,
25 dat de inbrengstappen het gelijktijdig vanuit tegengestelde richtingen langs de geometrie-as van het cyclotron naar het centrum van het cyclotron richten van twee deeltjesbundels omvat.

12. Werkwijze volgens conclusie 10 of 11, met het kenmerk, dat de inbrengstappen het gelijktijdig vanuit axiale
30 richtingen naast elkaar op respectieve afstanden van de geometrie-as van het cyclotron naar het centrum van het cyclotron richten van deeltjesbundels omvatten.

13. Werkwijze volgens conclusie 12, met het kenmerk, dat de inbrengstappen het tegengesteld gericht inbrengen van twee of
35 meer niet langs de geometrie-as van het cyclotron gerichte deeltjesbundels omvat.

Eindhoven, december 1993.

9302257

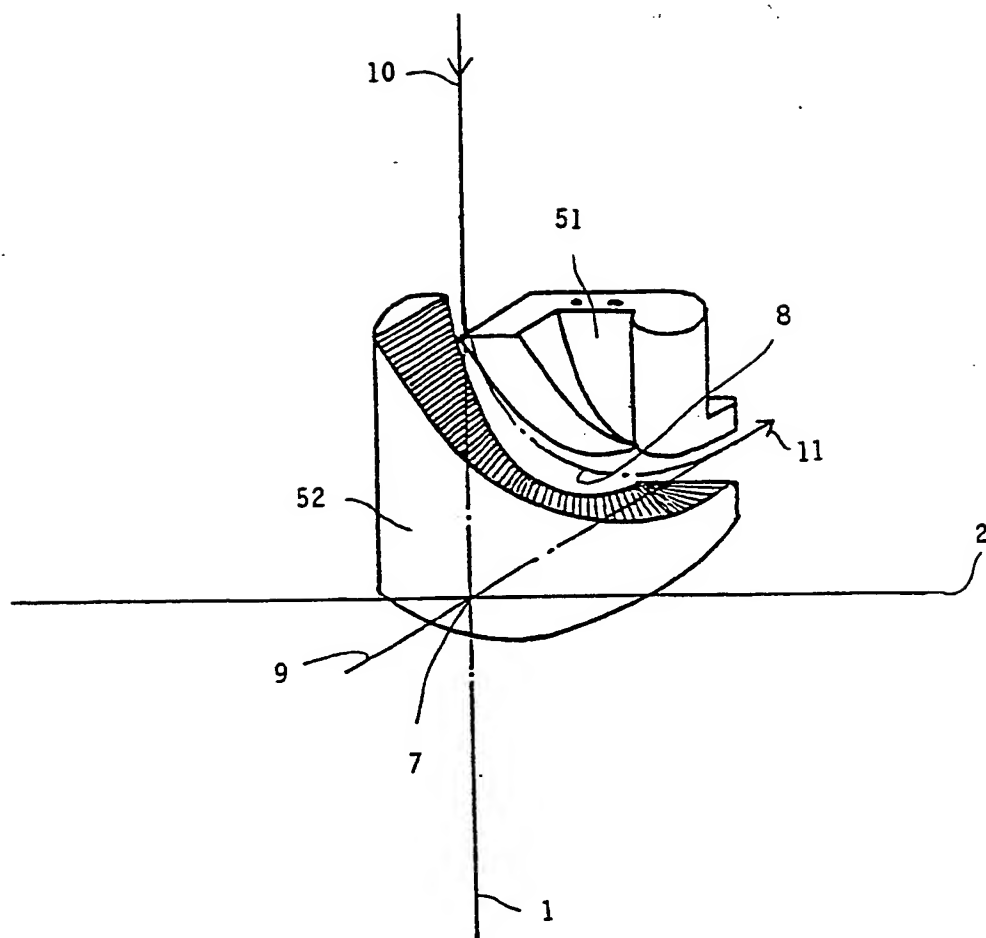


Fig. 2

9302257

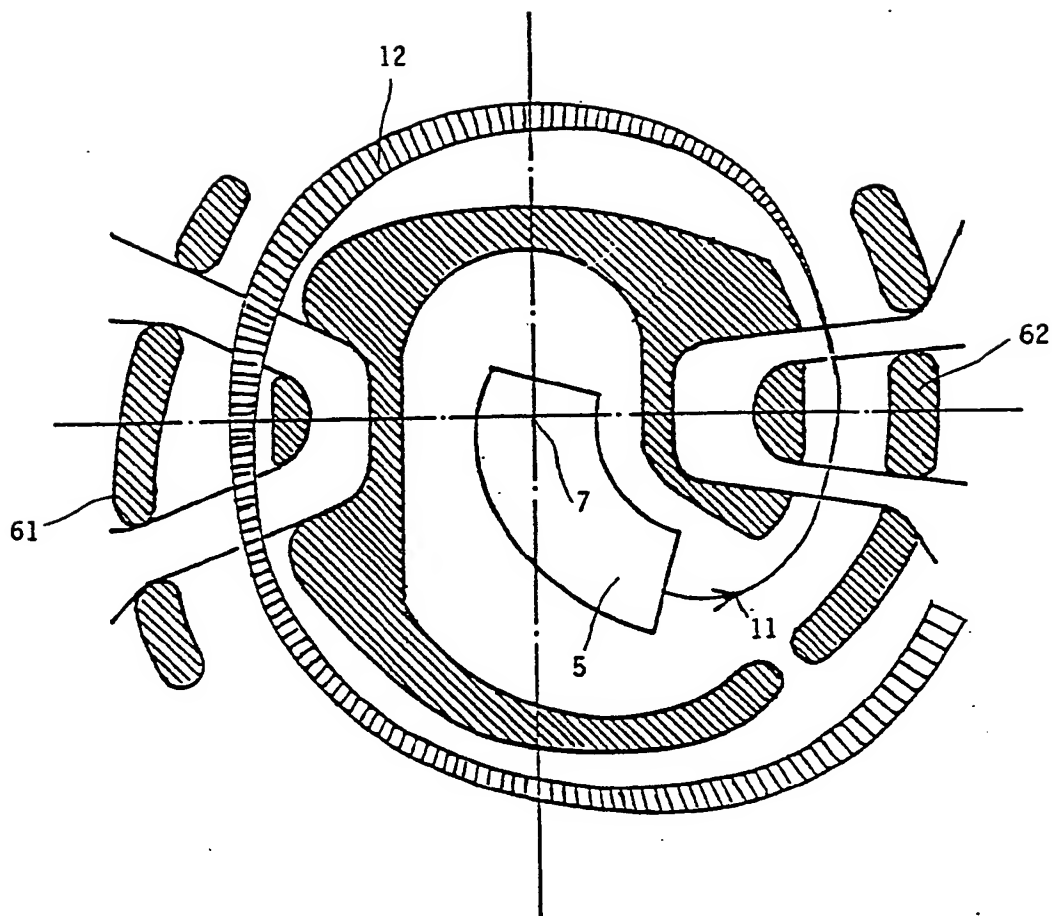


Fig. 3

9302257

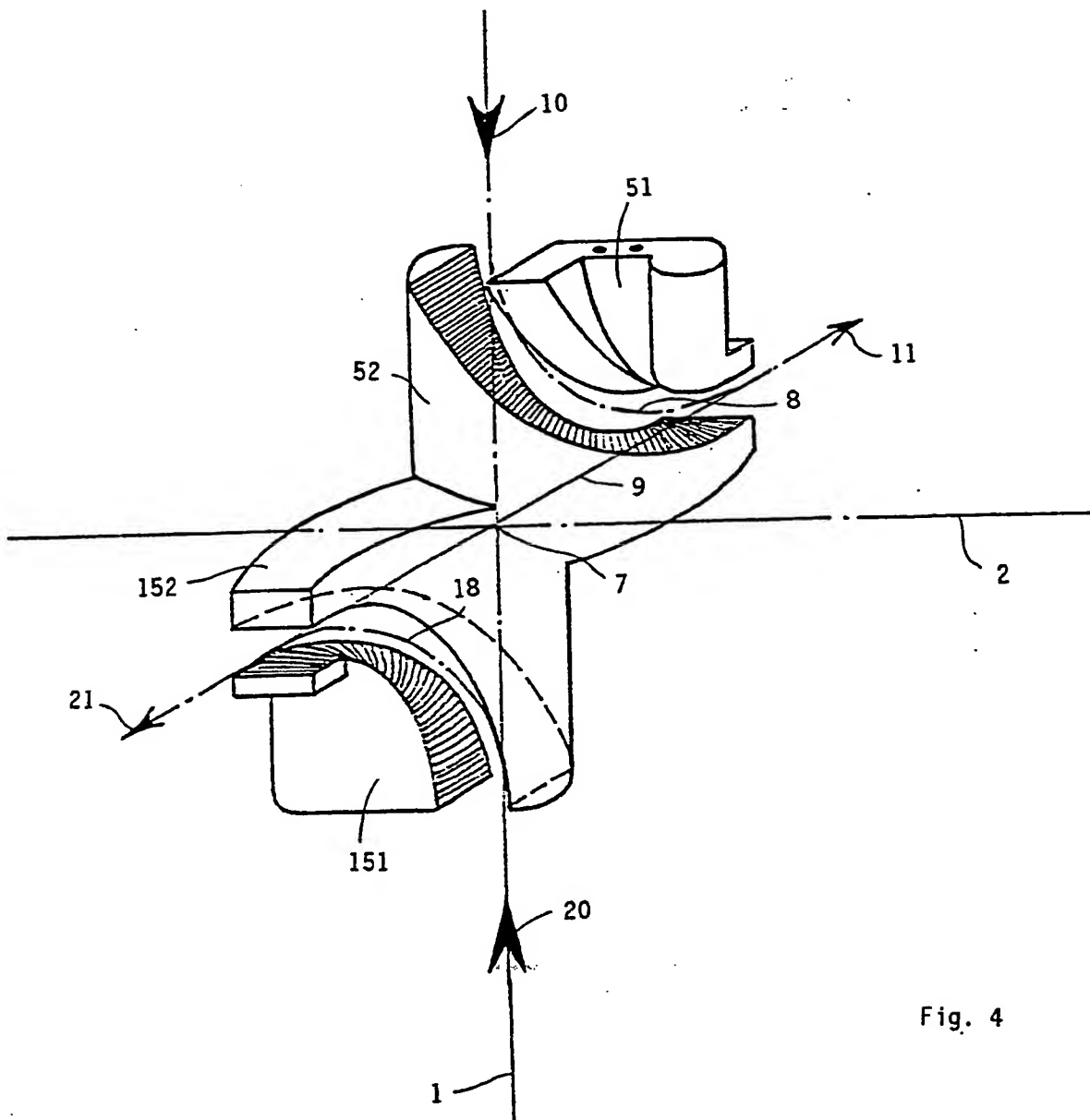


Fig. 4

9302257

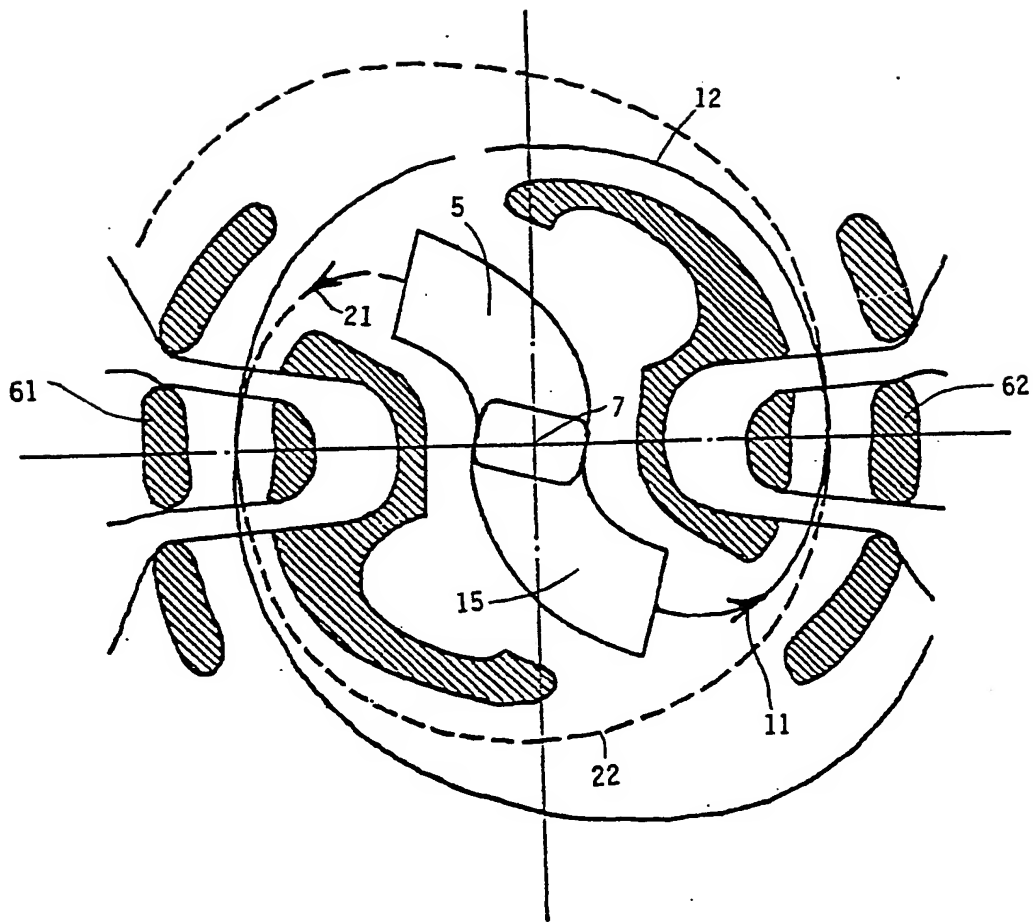


Fig. 5

9302257

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.